

Análise multicritério como apoio à elaboração de índice de sustentabilidade ambiental no Município de Araras, SP



Figura da capa: O sistema de colheita mecanizada na cana-de-açúcar deixa uma grande quantidade de palhada no solo, melhorando a sustentabilidade ambiental.

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 82

Análise multicritério como apoio à elaboração de índice de sustentabilidade ambiental no Município de Araras, SP

*Sérgio Gomes Tôsto
Lauro Charlet Pereira
Ranulfo Paiva Sobrinho
João Fernando Marques
Ademar Ribeiro Romeiro
João Alfredo de Carvalho Mangabeira*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão
CEP 13070-115 Campinas, SP
Telefone: (19) 3211 6200
Fax: (19) 3211 6222
www.cnpm.embrapa.br
sac@cnpm.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: *Cristina Criscuolo*

Secretária-Executiva: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Bibiana Teixeira de Almeida, Daniel de Castro Victoria, Davi de Oliveira Custódio, Graziella Galinari, Luciane Dourado, Vera Viana dos Santos*

Supervisão editorial: *Cristina Criscuolo*

Revisão de texto: *Bibiana Teixeira de Almeida*

Normalização bibliográfica: *Vera Viana dos Santos*

Tratamento de ilustrações e editoração eletrônica: *Shirley Soares da Silva*

Ilustrações da capa e no documento: *Sérgio Gomes Tôsto* (autor).

1ª edição

1ª impressão (2010): versão digital.

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Monitoramento por Satélite

Tôsto, Sérgio Gomes

Análise multicritério como apoio à elaboração de índice de sustentabilidade ambiental no Município de Araras, SP / Sérgio Gomes Tôsto, Lauro Charlet Pereira, Ranulfo Paiva Sobrinho, João Fernando Marques, Ademar Ribeiro Romeiro, João Alfredo de Carvalho Mangabeira. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

12 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 82).
ISSN 0103-78110.

1. Gestão ambiental. 2. Pesquisa agrícola. 3. Planejamento. 4. Qualidade ambiental. I. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas, SP). II. Pereira, Lauro Charlet. III. Sobrinho, Ranulfo Paiva. IV. Marques, João Fernando. V. Romeiro, Ademar Ribeiro. VI. Mangabeira, João Alfredo de Carvalho. VII. Título. VIII. Série.

CDD 631.4

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010

Autoria

Sérgio Gomes Tôsto

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Desenvolvimento, Espaço e Meio Ambiente, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite
tosto@cnpm.embrapa.br

Lauro Charlet Pereira

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente
lauro@cnpma.embrapa.br

Ranulfo Paiva Sobrinho

Ecólogo, Doutorando em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
ranulfops@yahoo.com.br

João Fernando Marques

Economista, Doutor em Economia, Professor visitante da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
jofemarques@uol.com.br

Ademar Ribeiro Romeiro

Economista, Doutor em Economia, Professor titular da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
ademar@eco.unicamp.br

João Alfredo de Carvalho Mangabeira

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Desenvolvimento Espaço e Meio Ambiente, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite
manga@cnpm.embrapa.br

Agradecimentos

O autor agradece o apoio financeiro proporcionado pelas seguintes instituições:

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp),
- Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Pibic/CNPq).

Sumário

Resumo	5
Introdução.....	6
Metodologia	7
Resultados	10
Conclusões.....	12
Referências	12

Índice de Figuras

Figura 1. Distribuição espacial das principais atividades agrícolas no Município de Araras, SP.	7
Figura 2. Processo da abordagem multicriterial de apoio à decisão.	8
Figura 3. Estrutura de critérios e subcritérios.	9

Resumo

A cultura da cana-de-açúcar encontra-se em expansão no Estado de São Paulo. Esse fato decorre principalmente de perspectivas favoráveis da demanda por álcool combustível nos mercados interno e externo e dos preços competitivos do açúcar brasileiro no mercado internacional. São Paulo foi responsável, em 2007, por cerca de 60% da produção brasileira de cana-de-açúcar. Algumas regiões do estado apresentam melhores condições para esse cultivo em razão da qualidade do solo, da adequação climática, dos regimes pluviais, das condições topográficas, além da infraestrutura logística.

A sustentabilidade é um ideal sistemático que se constrói principalmente pela ação integrada da busca do desenvolvimento econômico em harmonia com a conservação ambiental. Os pontos elementares da sustentabilidade visam à sobrevivência no planeta, tanto no presente quanto no futuro.

Estudos que abordam e contribuem para identificar o nível de sustentabilidade ambiental das atividades agrícolas possibilitam não somente uma avaliação da performance quanto ao uso da terra, mas também podem auxiliar na identificação de eventuais riscos ambientais que possam comprometer a qualidade dos recursos naturais, bem como ajudar a preveni-los.

Palavras-chave: gestão ambiental, pesquisa agrícola, planejamento, qualidade ambiental.

Análise multicritério como apoio à elaboração de índice de sustentabilidade ambiental no Município de Araras, SP

Sérgio Gomes Tôsto

Lauro Charlet Pereira

Ranulfo Paiva Sobrinho

João Fernando Marques

Ademar Ribeiro Romeiro

João Alfredo de Carvalho Mangabeira

Introdução

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida em 1992 (Rio-92), ratificou a necessidade de integrar meio ambiente e desenvolvimento para a formulação de políticas públicas. Indicadores ambientais representam ferramentas para a comunicação de informações sintéticas sobre o estado do meio ambiente, tanto aos formuladores de política quanto ao público em geral (GUTIÉRREZ-ESPELETA, 1998).

A cultura da cana-de-açúcar encontra-se em expansão no Estado de São Paulo. Esse fato decorre principalmente de perspectivas favoráveis da demanda por álcool combustível nos mercados interno e externo e de preços competitivos do açúcar brasileiro no mercado internacional. São Paulo foi responsável, em 2007, por cerca de 60% da produção brasileira de cana-de-açúcar. A expansão da produção paulista aconteceu tanto devido ao aumento da produtividade quanto pela expansão da área plantada (UNICA, 2010). Segundo dados do IBGE, a área ocupada com a cultura passou de 2,5 milhões de hectares em 1997 para cerca de 3,3 milhões de hectares em 2006. Algumas regiões do estado apresentam melhores condições para o cultivo da cana-de-açúcar em razão da qualidade do solo, da adequação climática, dos regimes pluviais e das condições topográficas. Devem ser destacadas também as condições da infraestrutura disponível – facilidades de estocagem, rodovias, portos, entre outros – bem como o tamanho do mercado consumidor como elementos facilitadores da expansão da indústria canavieira no estado. Além disso, é importante mencionar a existência de mais de 150 usinas de álcool e açúcar em operação na safra 2007 (UNICA, 2010) no Estado de São Paulo.

O rápido desenvolvimento do setor sucroalcooleiro pode acarretar impactos ambientais negativos e externalidades, entre elas: o uso, a ocupação e a degradação de ecossistemas florestais, principalmente das áreas de preservação permanente (APPs) e de reserva legal (RL); as emissões de gases de efeito estufa decorrentes das queimadas, muito embora esteja em vigor um protocolo assinado entre o governo paulista e as usinas de não utilizar a prática da queima da cana-de-açúcar a partir do ano de 2017; o assoreamento dos corpos d'água; a contaminação de cursos d'água e do lençol freático. Este trabalho foi desenvolvido no Município de Araras, que tem cerca de 53% de suas terras ocupadas com a atividade de cana-de-açúcar, seguida de citricultura com 19% e

de mata ciliar com 12%, além de culturas anuais e pastagem, que totalizam cerca de 5%, conforme ilustrado na Figura 1 (TÔSTO, 2010). O principal objetivo foi elaborar índices de sustentabilidade ambiental para a cultura da cana-de-açúcar nos sistemas de manejo com colheita mecanizada e colheita com auxílio da queimada.

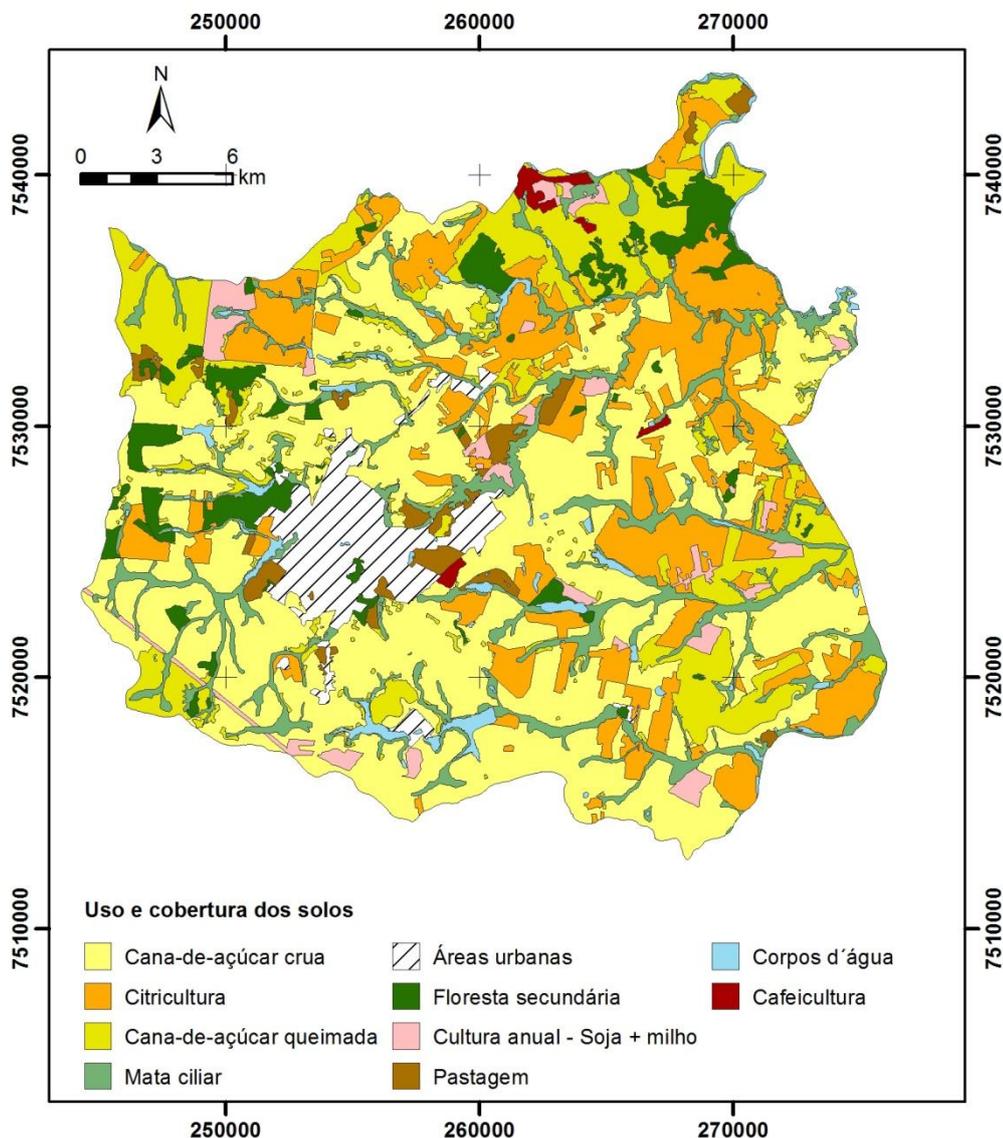


Figura 1. Distribuição espacial das principais atividades agrícolas no Município de Araras, SP.

Metodologia

Cientistas da área da pesquisa operacional (PO) vêm desenvolvendo, desde a década de 1970, métodos que visam solucionar problemas envolvendo múltiplos objetivos. Houve a necessidade de desenvolver novos métodos para superar as limitações dos métodos já estabelecidos, ampliando o corpo teórico da PO (ROSENHAD, 1990).

Existem dentro da PO duas vertentes: (i) *multicriteria decision making* (MCDM), que busca desenvolver modelos matemáticos com vistas a encontrar uma solução ótima, preexistente às percepções dos decisores, e é uma corrente de pensamento da escola norte-americana; e (ii) *multicriteria decision aid* (MCDA), que busca desenvolver o entendimento a respeito de um contexto a partir das percepções dos envolvidos no processo, corrente de pensamento da escola europeia (IGARASHI, 2007; PALADINI, 2007).

Apesar da diversidade de metodologias, a partir de 1980, com a contribuição de pesquisadores da escola europeia, principalmente do trabalho de Roy (1986), consolidou-se um corpo teórico prático em que a construção do procedimento analítico para o problema em questão é realizada em conjunto com os decisores, ou seja, com as pessoas que são conhecedoras dos problemas. Dessa forma, criaram-se as bases dos métodos multicritérios de apoio à decisão construtivista – MCDA-C (ROY, 1986).

Para a elaboração do trabalho, utilizou-se como fundamento básico a análise multicritério de apoio à decisão, que se baseia em um paradigma construtivista cujas convicções que norteiam o modelo são: (i) a consideração simultânea dos elementos de natureza objetiva e subjetiva; e (ii) a convicção construtivista, que tem a participação e a aprendizagem dos decisores como pilares do paradigma.

No processamento metodológico, foram consideradas três fases de execução, que podem ser definidas como estruturação, avaliação e recomendações, conforme ilustrado na Figura 2.

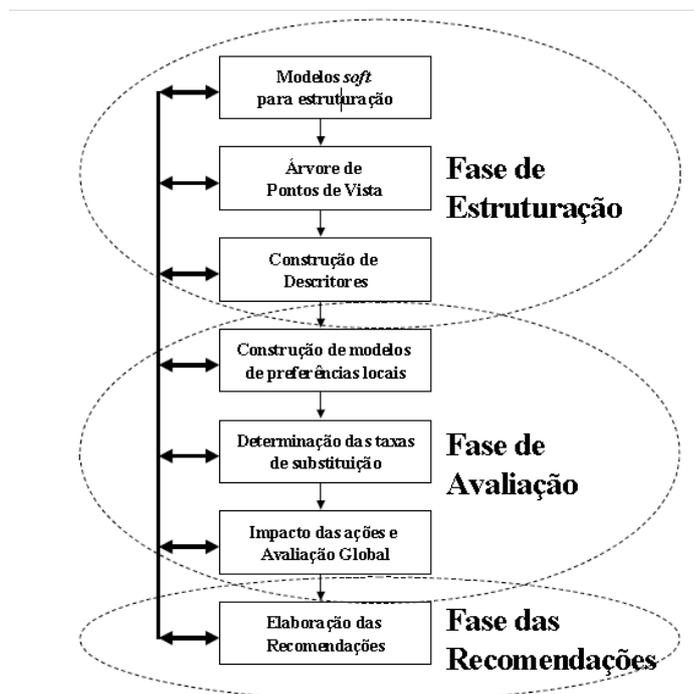


Figura 2. Processo da abordagem multicriterial de apoio à decisão. Fonte: Ensslin (2001).

Para a estruturação do problema, contou-se com o auxílio de um facilitador, ou seja, de um profissional possuidor do domínio das técnicas de análise multicriterial, e de um decisor com grande conhecimento das questões ambientais da região. A partir da interação entre esses agentes foi possível identificar os critérios e subcritérios relevantes para a elaboração dos índices de sustentabilidade ambiental para a cultura da cana-de-açúcar sob os dois sistemas de manejo considerados: a colheita mecanizada e a colheita com auxílio da queimada, conforme apresentado na Figura 3.

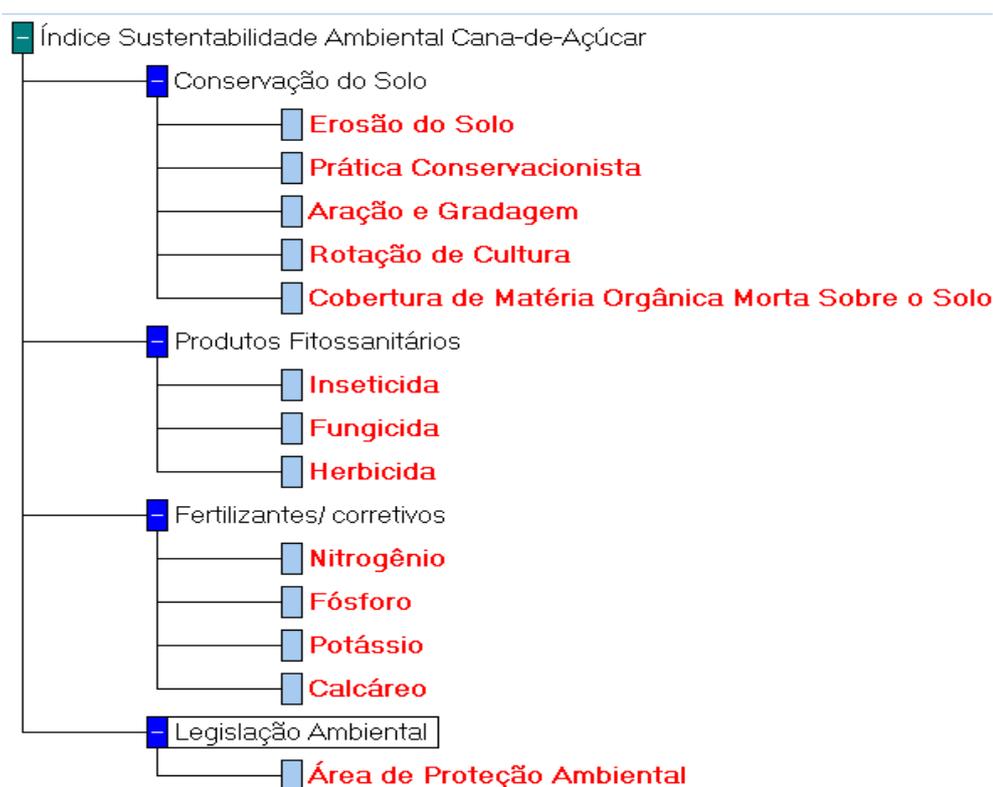


Figura 3. Estrutura de critérios e subcritérios.

A seguir, foi realizado o levantamento de dados e informações quantitativas referentes a cada subcritério. Para a estimativa do subcritério da taxa de erosão do solo foi utilizado o modelo *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (WISCHIMEIER; SMITH, 1978), também conhecido por equação universal de perda de solo (EUPS), adaptada para uso nas condições brasileiras por Bertoni e Lombardi (1993). Para os demais critérios (produtos fitossanitários; fertilizantes/corretivos e legislação ambiental) foram realizadas entrevistas junto a três extensionistas rurais da Coordenadoria de Assistência Técnica de São Paulo (Cati) e dois gerentes de usina, além de contato direto com quatro produtores rurais e com dois pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente e de consulta à legislação ambiental vigente.

No processo de avaliação, utilizou-se o software *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH)*, desenvolvido por Bana e Costa et al. (1995), que emprega uma série de categorias semânticas para determinar a função de valor por meio de modelos de programação linear. Nessa avaliação, o decisor foi questionado sobre a diferença de atratividade entre duas categorias, ou seja, sobre qual era a sua percepção quanto à decisão de sair de uma categoria boa para outras piores, considerando:

- CO: nenhuma diferença (nula);
- C1: diferença muito fraca;
- C2: diferença fraca;
- C3: diferença moderada;
- C4: diferença forte;
- C5: diferença muito forte;
- C6: diferença extrema.

Para a determinação dos pesos, adotou-se o método *swing weight* (ENSSLIN, 2001).

Na etapa de recomendações, é feita uma análise de cada critério/subcritério que visa identificar os piores desempenhos com o objetivo de propor ações de melhoria que possam alavancar o desempenho dos respectivos critérios/subcritérios (ENSSLIN, 2001).

Resultados

A partir das interpretações geradas pelo modelo para definir o índice de sustentabilidade ambiental para a cana-de-açúcar queimada, verificou-se que o índice de sustentabilidade ambiental total foi abaixo da média e alcançou o valor de 41,8 em uma escala de 0 a 100, conforme ilustrado na Tabela 1. Observou-se que os critérios conservação de solo e uso de fertilizantes tiveram índices abaixo da média e os critérios legislação ambiental e uso de produtos fitossanitários tiveram índices ligeiramente superiores aos da média. O pior índice foi o do critério conservação de solos, pois práticas importantes para o manejo e a conservação dos solos, como a adoção do uso de leguminosas, não são seguidas pelos produtores. Segundo os extensionistas rurais do município, o uso de fertilizantes nem sempre é baseado em análise de solo, o que acarreta sobreuso e contribui para uma possível contaminação de solo e água, penalizando o índice parcial de sustentabilidade. O índice parcial de sustentabilidade relativamente baixo para o respeito à legislação vigente corresponde a uma taxa de ocupação de matas ciliares por cultura da cana-de-açúcar queimada que, no município, é da ordem de 50% (TÔSTO, 2010).

Em uma avaliação global, o baixo valor do índice de sustentabilidade ambiental reflete uma condição de manejo inadequada, com graves consequências ambientais, econômicas e sociais.

Tabela 1. Índices de sustentabilidade ambiental para a cana-de-açúcar queimada.

Critérios	Peso (%)	Performance dos critérios	Índice parcial	Contribuição (%)
Conservação de solos	28	15,91	4,5	10,8
Fertilizantes	24	48,5	11,6	27,8
Legislação ambiental	23	54,3	12,2	29,2
Produtos fitossanitários	25	53,2	13,5	32,2
Índice total			41,8	100

Adotando-se os mesmos procedimentos metodológicos, foi encontrado índice de sustentabilidade ambiental de 65 para a cana-de-açúcar mecanizada, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Índices de sustentabilidade ambiental para a cana-de-açúcar com colheita mecanizada.

Critérios	Peso (%)	Performance dos critérios	Índice parcial	Contribuição (%)
Conservação de solos	35	88,7	31,04	48,30
Fertilizantes	20	64	12,8	15,72
Legislação ambiental	30	74	22,20	23,45
Produtos fitossanitários	15	53,2	7,98	12,21
			65	100

O índice maior para a cana-de-açúcar mecanizada em relação à cana-de-açúcar queimada é reflexo principalmente das melhores condições de manejo da cultura, que resultam em maior conservação do solo, usos mais adequados de produtos fitossanitários e fertilizantes, além de maior respeito à legislação ambiental.

A palhada da cana-de-açúcar mecanizada deixada sobre o solo proporciona melhoria nas suas propriedades físicas e químicas, reduz a perda de erosão, mantém o solo mais úmido, pois reduz a perda de água e disponibiliza uma quantidade de água maior para a cultura, contribuindo para maior produtividade. Todos esses fatores conjugados contribuíram para um melhor índice de sustentabilidade do manejo da cana-de-açúcar mecanizada, que foi aproximadamente 50% superior ao encontrado para a cana-de-açúcar queimada.

A partir de uma análise comparativa dos índices de sustentabilidade, verificou-se que apesar de a cana-de-açúcar mecanizada ter índice superior, isso não reflete suas condições ótimas de exploração, havendo necessidade, portanto, de melhorias de manejo nos critérios avaliados.

Conclusões

Verificou-se que o sistema mecanizado, mesmo tendo performance maior no índice de sustentabilidade, pode melhorar o manejo da atividade e alcançar índices maiores. No caso da cana-de-açúcar queimada, deve-se utilizar manejo mais adequado, como técnicas de conservação do solo, respeito à legislação ambiental e produtos fitossanitários alternativos com dosagens adequadas, promovendo, assim, um uso mais sustentável do cultivo.

O uso da análise multicritério de apoio à decisão construtivista (MCDA-C) pode constituir ferramenta útil para a definição de índice de sustentabilidade ambiental.

Para estudos futuros, a inclusão de novos critérios ambientais, como qualidade de água, emissão de gases de efeito estufa e biodiversidade, por exemplo, deve ser considerada, visando o aprimoramento metodológico e a melhor avaliação de uso das terras dentro do contexto de sustentabilidade ambiental.

Referências

BANA E COSTA, C. A.; STEWART, T. J.; VANSNICK, J. C. Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings. In: EURO CONFERENCE ON OPERATIONAL RESEARCH, 14., 1995 Jerusalem. **Anais...** Jerusalém, p. 261-272, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Icone, 1993. 355 p.

ENSSLIN, L. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Ed. Insular, 2001. 84 p.

GUTIÉRREZ-ESPELETA, E. E. **Designing environmental indicators for decision makers**. International Statistical Institute, 1998. Disponível em: <<http://isi.cbs.nl/iamamember/CD5-Mexico1998/inviter/DIN7SP2.HTM>>. Acesso em: 14 maio 2009.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do Município de Araras, SP**. 2010. 217 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Dados e cotações – estatísticas**. Disponível em: <<http://unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 9 set. 2010.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to a conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).



*Monitoramento por Satélite
Meio Ambiente*

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

